

夜視鏡之雜散光分析與抑制

郭勇助 陳昭先

國立高雄應用科技大學機械與精密工程研究所

e-mail:1096303148@cc.kuas.edu.tw

e-mail:ch_chen@cc.kuas.edu.tw

摘要

雜散光為光學系統中不需要或是額外衍生出來的光線。雜散光的產生會降低對比及成像品質，嚴重關係到系統的成敗，因此抑制雜散光是設計光學系統相當重要的課題。雖然雜散光無法完全抑制，但適當的光機設計可以有效的抑制雜散光在合理範圍[1-4]。本研究將探討夜視鏡所產生的雜散光現象與如何解決雜散光之問題，配合業界資訊再搭配軟體模擬真實情況加以改善夜視鏡級監視系統。

關鍵詞：雜散光，光機系統

Abstract

Stray light is the unfunctioned light in optical systems which reduces the image contrast and optical quality. Controlling stray light is essential to the success of designing optical systems. Stray light is always exists in optical systems, but we can reduce it to a reasonable order by using suitable opto-mechanical designs. In this paper, we first analyze the stray light of a night vision system of which the construction data are provided by the manufacturer and then identify the critical and illuminated surfaces as well as the stray light paths. Finally, the stray light is well reduced by using blocking apertures and blacking the edges of some important lens elements.

Keywords: Stray light、opto-mechanical

1. 前言

夜視級監視器在夜間操作，遇到強光照射會造成嚴重的雜散光，嚴重影響監視效果，導致整個系統無法運作。為了模擬出此現象，採用 FRED 這套軟體來加以進行模擬與分析，再配合一些基礎理論尋找可能產生雜散光之部位，使得模擬速度更加迅速。模擬中不僅考慮鏡片間折反射與散射特性，也必須考慮機構中散射特性，在成像面上加以分析。使用軟體光

追跡功能可以找出雜散光是從那幾個機構或是鏡面間所造成的。分析後加以改善再進行模擬，一直重複進行，直到系統雜散光降低到容許範圍內。

2. 模擬與分析

本研究中主要遇到兩個問題：(1)鏡頭在某個角度下會有嚴重的炫光之雜散光，如圖 1 所示。(2)在鏡頭出瞳往入瞳方向看去會看到一團白色雜光，如圖 2 所示。

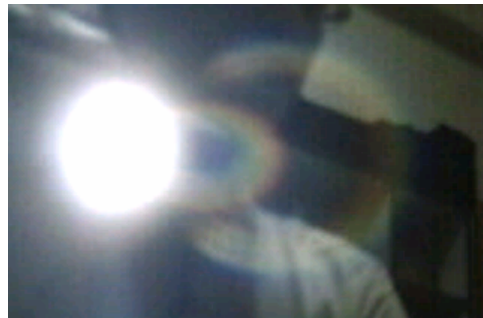


圖 1. 炫光之雜散光。



圖 2. 紅色圈為白色雜光。

2.1 雜散光種類與抑制

2.1.1 雜散光種類分為三大類：

- (1) 光源直射：在反射式或是折反射式望遠鏡系統中，視角外的光線按照設計的光路徑，即不經過主反射鏡與次反射鏡反射，直接射入於焦平面，對正常影像造成干擾。
- (2) 鬼影：鬼影是由強光源產生的離焦或是如鬼魅般的成像。因為光學表面並非 100% 穿透率，所以當光線與光學表面作用時，會有部分穿透，部分反射的情況發生，產生額外的子光線。主光線及子光線等光源在光學系統內經過各鏡片多重的反射，折射

後成像於焦平面(底片或是 CCD 感測器)上的能量分佈,便是鬼影。光學系統的光學結構會影響鬼影呈現離焦發散或是聚焦收斂的狀態,發散型分佈通常會降低影像對比度,而聚焦狀的能量分佈則會形成重疊的影像或是明顯的光點,一般以光圈疊影,以及弧狀鬼影最為常見。而形成鬼影的光線在各光學表面間的折射次數必為偶數,如二次反射鬼影、四次反射鬼影等。另外,當有強光源入射時,透鏡鏡面,鏡筒(barrel)以及擋光板(baffles)上的散射光線,也有形成鬼影的可能。

- (3) 散射雜光:由入射光源照射在光學表面或是機械機構表面上的散射光束所引起的雜散光。此類的雜散光略分為單次散射雜光(single scatter stray light)與多次散射雜光(multiple scatter stray light)。當光源入設於光學系統內時,部分的散射光會直接的或是經由折射而抵達焦平面上,這些散射於系統視角內的雜散光及稱單次散射雜光。而多次散射雜光則是經過多次表面間的散射雜光。一般而言,多次散射雜光的強度遠小於單次散射雜光,再一般成像系統可能影響不大,但是對於某些光訊號微弱、需要高訊雜比的高靈敏系統,多次散射雜光的效應就不能忽略。

2.1.2 雜散光抑制可分三類

- (1) 光圈闌(aperture stop):光圈在光學系統中控制系統的入光量,對於雜散光抑制,光圈位置則限制著感測器的視角,阻擋視角外可視的物件,避免其形成雜散光來源。同樣的,放置在系統中間成像(intermediate image)上的視場光闌(field stop)與焦平面前的立奧光闌(lyot stop)也是利用開口大小與位置來限制光線,並阻隔視角外反射與散射光線對於感測器的干擾。
- (2) 擋光板與擋光舵板:擋光板與擋光舵板是常被用在抑制雜散光的結構,擋光板通常為圓錐狀、筒狀的結構,用於直接阻隔光線直射於系統內,擋光舵板則是擋光板上之次結構,有防止結構表面散射雜光的作用。
- (3) 表面陽極處理:將機構表面陽極處理,形成黑化表面(black surface),或是利用加工,在表面形成可造成光線多重反射的均勻微結構,則是改變機構表面的之散射分佈特性來達到抑制雜散光的效果。

2.2 尋找雜散光方法

如何有效又迅速的找出雜散光產生的位置,就是從成像面上開始尋找。尋找雜散光的方法大分為三類[5]:

- (1) 確認重要物件(Identify the critical objects):重要物件的定義,從成像面所看到的任何表面或是物件,就是重要物件。它包括成像面所看到的鏡面跟反射鏡的任何表面。百分之百的雜散光都來自於重要物件。
- (2) 確認被照明物件(Identify the illuminated objects):被照明物件的定義,被光源所照射到的表面或是物件,就是被照明物件。被照明物件取決於光源的位置,不同位置的光源,所相對應的被照明物件也會不同。
- (3) 確認雜散光路徑(Identify stray light paths):對照出重要物件表與被照明物件表結合而成的雜散光路徑表。若是物件為一階雜散光路徑(first order stray light path),通常雜散光所產生的因素就是些物件。

2.3 夜視鏡規格

此系統為勝滋科技所研究與開發的夜視鏡,有效焦距為 4.7147mm, F/# 為 1.0993,最大半視角為 37.5628 度,成像半高為 1.9mm,如圖 3 所示。

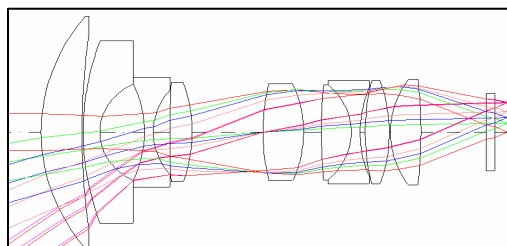


圖 3. 勝滋科技研發之夜視鏡。

夜視鏡之鏡筒機構是由六個零組件所組合而成,如圖 4、5 所示。

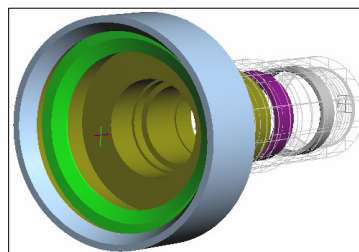


圖 4. 夜視鏡之組合圖。



圖 5. 夜視鏡之實體。

2.4 鏡片分析

首先探討鏡片與鏡片之間在不同角度的折反射是否有造成雜散光[6]。

模擬參數:

- (1) 光源:587.6nm 平行光
- (2) 光線數:1 萬條光線
- (3) 光源角度:0、11、18、25、36、37
- (4) 將分析之鏡面設定穿透與反射其餘鏡面設定為穿透，如圖 6 所示。

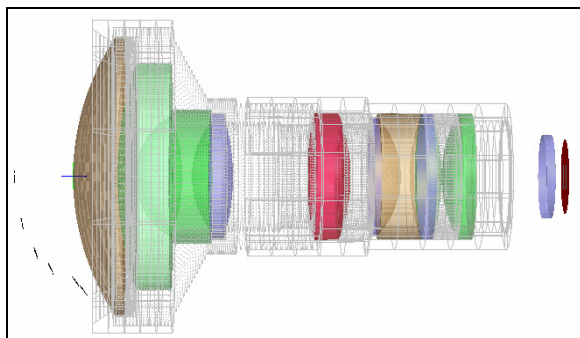


圖 6. 模擬參數。

經過分析後發現有幾個鏡面經過折反射後，聚焦在成像面上，如圖 7 所示。分析後發現較為嚴重的幾個表面分別為，第 1 面、第 8 面、第 11 面、第 18 面與第 19 面，如圖 8 所示。這 5 個面為重要的表面，表面鍍膜需要鍍較好的膜，使得穿透增加反射降低，達到抑制鏡片之間折反射所造成的雜散光。

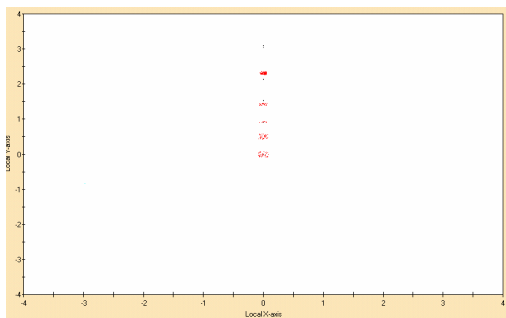


圖 7. 紅點為鏡片折反射後聚焦在成像面上。

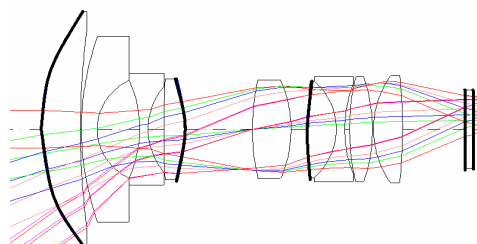


圖 8. 粗線所代表為重要的表面。

2.5 機構之散射模擬

探討機構所產生的雜散光現象，首先從成像面當成光源，再把光學系統入瞳部位設定接收面，如圖 9 所示。從成像面去定義出重要物件(critical objects)。重要物件的定義為，從接收面往物件看，所看道的物件就是重要物件。因為雜散光的產生 100%會從重要物件產生，所以要先定義出哪些機構是重要物件，這樣可以讓模擬事半功倍，大幅降低模擬時間，而不是一個一個試。

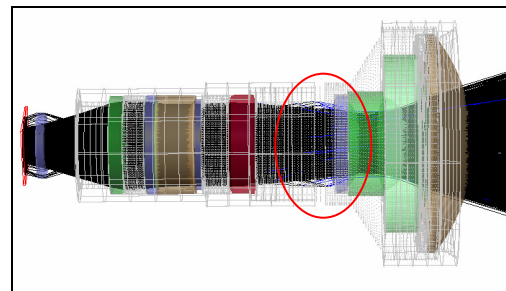


圖 9. 從成像面去定義重要物件。

找出重要物件為圖 9 中紅色圈圈處，這部位需採用較好的抗反射塗料，才可以杜絕機構中散射雜散光。

2.6 鏡片邊緣之散射模擬

再定義出機構散射中的散射之後，並沒有很明顯的改善雜散光的現象，所以，再重新往別的方向去思考雜散光所產生的部位，再重新從成像面去探討重要物件有哪些，經過一連串分析，發現第三片鏡片邊緣散射特性有可循之處，固加以討論與分析，如圖 10、11 所示。

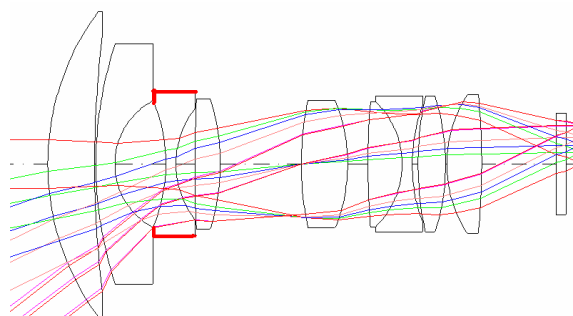


圖 10. 粗線為第三片鏡面邊緣

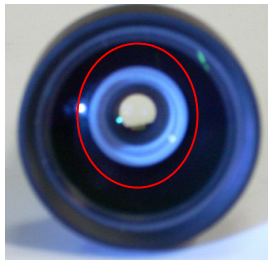


圖 11. 第三片鏡面邊緣實際情形。

目前已知第三片鏡面邊緣有嚴重散射情況，故在模擬時加入散射特性。

模擬參數如下，如圖 12、13 所示：

- (1) 光源:587.6nm
- (2) 光線數:1 萬條光線
- (3) 角度:0~37°
- (4) 散射特性:Harvey-Shack(拋光面散射模型)

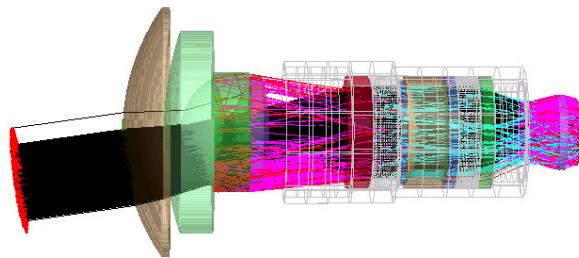


圖 12 FRED 模擬邊緣散射

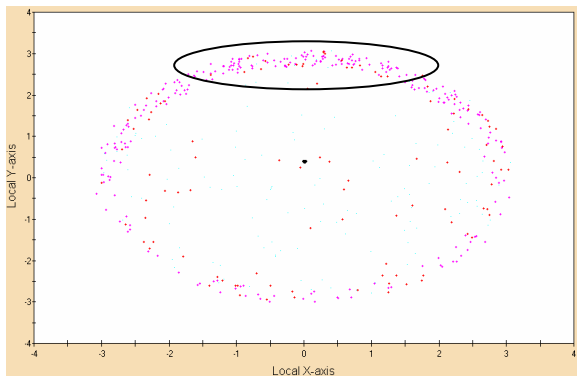


圖 13. 入射角為 5° 邊緣散射之分布情形，圈圖處為散射與反射的點。

為了防止散射雜散光的產生，在鏡片邊緣需要染黑，使得散射降低。

再進一步分析，當入射角度在 9°~12° 時，發現正常光路中的非正常光路出現在成像面上，正常光路中的非正常光路，指的是再有效路徑以外的光路。因為正常光路會聚焦成一個點，但是非正常光路就會發散，如圖 14 所示。

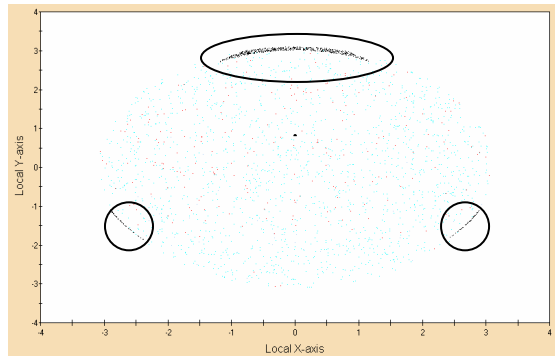


圖 14. 圈圖處為正常光路中非正常光路。

此光路因為是正常光路，所以能量會比散射出來的能量還要大許多，會直接影響成像品質，所以要把此類的光路徹底阻擋，避免影響成像品質，在這方面可由機構著手，如圖 15 所示。

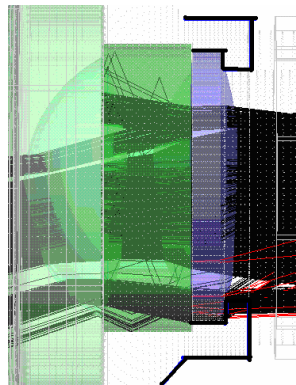


圖 15. 粗線代表機構抑制雜散光。

雖然機構這樣做會造成部分光被擋掉，但是機構擋掉的光線是非正常光路的光，所以不會影響到整個成像品質。

2.7 夜視鏡系統模擬

定義完重要物件之後，開始模擬整個光學系統，在模擬與分析中不考慮最前面機構散射特性，原因是因為它們為系統最前面的機構，散射出的能量再經過光學系統中數十次的折反射後，能夠到達成像面的能量幾乎為零，故不考慮最前面機構的散射特性，也可以讓模擬速度加快。

設定模擬參數：

- (1) 光源:486.1nm、587.6nm、656.3nm 三種波長之平面光。
- (2) 光源位置:X=-6mm、Y=-6mm、Z=-40mm 與 Y 軸夾角 15 度
- (3) 鏡筒內部散射特性:黑朗伯(4%黑漫反射率)
- (4) 發光角度:15°
- (5) 光線數:1 萬條光線

模擬方式:將鏡面與鏡面之間折反射,到達成像面上雜散光位置與能量,加以判斷鏡面之重要性,如圖 17 所示。

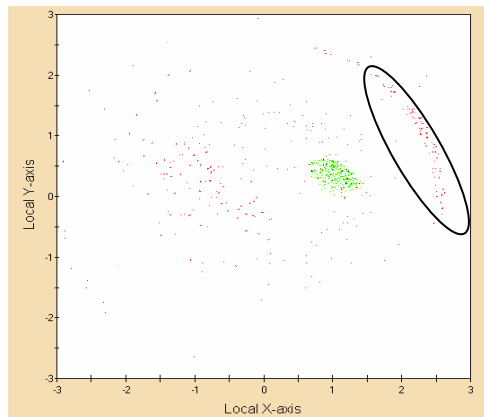


圖 17. 圈圈處為雜散光圖形。

圖 17 中紅色點為鏡片與鏡片間折反射後所造成之鬼影雜散光,經過一連串分析,發現機構中所產生的雜散光比鏡片間折反射與散射的能量還要低,而且經過這次分析之前所分析的那 5 個鏡面依然是重要的鏡面,也發現新的重要鏡面為第 15 面,如圖 18 所示。

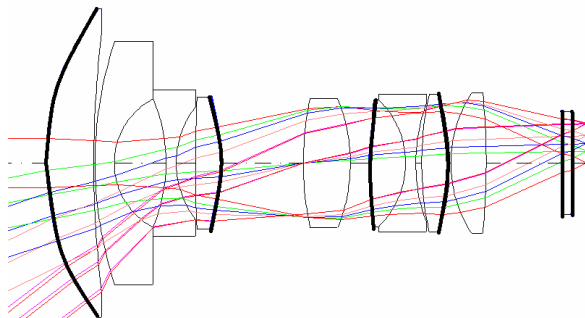


圖 18. 粗線部位第二次分析後,重要的鏡面。

所以,這次研究中最主要產生雜散光的是鏡片所產生的,它所分佈的情形與我們所看到的實際情形相當類似,如圖 1 所示。成功的找出雜散光的幾個重要物件。

要解決鏡面之間雜散光的問題,我們必須在幾個重要表面鍍較好的膜來增加它的穿透降低反射,以達到抑制雜散光的產生。

2.8 夜視鏡改善

我們已經知道幾個產生雜散光的重要物件,經過改善後確實提高了成像品質,改善的部位除了鏡片邊緣染黑外,還有提高鏡片的穿透率,我們以視訊所呈現出來的影像來做比較,如圖 19、20 所示。



圖 19. 夜視鏡改善前之視訊圖,邊緣模糊。

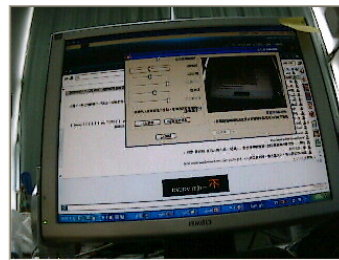


圖 20. 夜視鏡改善後之視訊圖,成像清晰。

從上圖可以很明顯的看出,在改善前視訊圖的邊緣會有霧化情況產生,這是因為雜散光的產生會降低對比度的關係。改善後的視訊圖明顯清晰許多,我們也改善了炫光雜散光的問題,夜視鏡改善前與改善後之實體,如圖 21、22 所示。



圖 21. 夜視鏡改善前實體,鏡片邊緣雜光。



圖 22. 夜視鏡改善後實體,鏡片邊緣無雜光。

2.9 結論

首先非常感謝勝滋科技提供的夜視鏡,讓我們有實際模擬與分析真正實體的經驗。經過一連串分析後,發現一開始的鏡片分析跟到後來加入機構分析,有些鏡面都有重複出現過,更證明了這幾個表面在正常光路下的重要

性。此外，有些鏡面並非為重要的鏡面，但與其它鏡面互相搭配後，卻有明顯的雜散光產生，這資訊無法從經驗來判斷，不過經由軟體模擬卻可以看到與實際相符的雜散光現象。在勝泓科技給予的夜視鏡中，我們可以很明顯的看出雜散光影響對比度，與鏡片邊緣未染黑所影響成像品質的嚴重性。這次很成功的把所看的雜散光現象，用 FRED 軟體模擬出來，也解決我們所遇到的問題。

參考文獻

- [1] Cheng-Fang Ho , Ting-Ming Huang , Senq-Tsong Chang , ”*Stray Light Analysis and Suppression in Optical System*”, **科儀新知第二十七卷第四期** 2006/2。
- [2] John C. Stover, *Optical Scattering Measurement and Analysis*, second edition, 1995.
- [3] Ahmad, Anees, *Handbook of optomechanical engineering / editor-in-chief*, CRC Press, c1997.
- [4] Warren J. Smith, *Modern Optical Engineering*, 3rd ed., McGraw-Hill, 2000.
- [5] BRO ASAP *Stray Light Tutorial*, August 16-18, 2001.
- [6] 黃忠偉、陳怡永、楊才賢、林宗彥、”Design Nine Compulsory Lessons Of The Past Master In Optics”, 五南 2008/7。